

## Список литературы:

1. Мильман О.О., Федоров В.А. Воздушно-конденсационные установки. – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 208 с.
2. Бессонный А.Н., Дрейнер Г.А., Кунтыш В.Б. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения: Справочник: Под общ. ред. В.Б. Кунтыша, А.Н. Бессоного. – СПб.: Недра, 1996. – 512 с.
3. URL: <http://www.nist.gov/srd/nist23.cfm> (Дата последнего обращения: 15.09.2014).

УДК 621.311

**ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ВОЗДУШНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ НА ТЭС**

Галашов Н.Н., к.т.н., Цибульский С.А., Ставронский С.А.

Томский политехнический университет, г. Томск

E-mail: [gal@tpu.ru](mailto:gal@tpu.ru)

В настоящее время в качестве основных аппаратов для конденсации выхлопного пара турбин применяются конденсаторы поверхностного типа, в которых охлаждение пара производится потоком воды. Эти конденсаторы имеют целый ряд достоинств: высокий коэффициент теплопередачи, компактность и удобную компоновку с турбиной, малые потери давления в тракте турбина–конденсатор, из-за чего и нашли широкое применение на тепловых электростанциях (ТЭС). Но при применении этих конденсаторов имеется ряд недостатков и проблем: для конденсации 1 кг пара требуется 50–100 кг охлаждающей воды; необходима система подвода, отвода и охлаждения воды; необходима система очистки трубок конденсатора от механических, солевых и биологических загрязнений; при эксплуатации этих систем происходит загрязнение водоемов, земли и атмосферы; насыщение воздуха паром при испарении воды в зимнее время приводит к обмерзанию и возможным нарушениям работы оборудования; при нарушениях работы системы водоснабжения возможна аварийная остановка турбины; при эксплуатации прямоточной и оборотной системы с прудами-охладителями возникают проблемы во время паводка и мелководья, а для систем с градирнями – в зимнее время; при водяном охлаждении нельзя получить температуру конденсации пара ниже 10 °С; поскольку конденсация водяного пара происходит при давлении ниже атмосферного, требуется система отвода воздуха из конденсатора и затраты на ее установку и эксплуатацию.

Большинство этих проблем можно решить при применении конденсаторов с воздушным охлаждением пара.

При использовании воздушных конденсаторов (ВК) ТЭС становится независимой от источника воды, отпадает необходимость в сооружении и эксплуатации водозаборных и очистных сооружений, строительстве градирен и других систем водоснабжения. В экологическом отношении ВК позволяют избежать загрязнения природы солями и насыщения атмосферного воздуха водяными парами. Сокращается число систем ТЭС, и улучшаются условия и надежность ее эксплуатации. Конденсацию паров многих веществ можно производить при температурах ниже 0 °С.

Применение ВК особенно выгодно на энергоблоках с бинарным циклом, когда в нем конденсируется низкокипящее вещество (НКВ) с большой плотностью пара. При этом размеры ВК и паропроводов существенно уменьшаются. Конденсация пара НКВ даже при отрицательных температурах происходит при давлениях выше атмосферного, что препятствует присосу воздуха в конденсатор и не приводит к снижению теплообмена в нем. Также не требуется специальная система отсоса воздуха из конденсатора, что упрощает схему турбоустановки и облегчает ее эксплуатацию. Большинство НКВ не вызывают коррозии оборудования, что увеличивает надежность и ресурс его работы, а также снижает затраты на ремонт.

Таким образом, воздушные конденсаторы по сравнению с водоохлаждаемыми имеют следующие преимущества:

- независимость расположения ТЭС от источника водоснабжения;
- уменьшение экологического влияния на человека, природу и атмосферу в районе расположения ТЭС;
- существенное сокращение площади, занимаемой ТЭС, из-за отсутствия системы технического водоснабжения;
- сокращение затрат и сроков строительства ТЭС;
- сокращение затрат электроэнергии на собственные нужды ТЭС в зимнее время путем отключения части или всех вентиляторов подачи воздуха;
- при применении НКВ – возможность конденсации их пара при отрицательных температурах в зимнее время года, что позволяет повысить КПД цикла за счет снижения температуры отвода теплоты.

Главными недостатками ВК являются:

- большие габариты из-за низкого коэффициента теплопередачи;
- применение оребренных труб, часто с цветными металлами для ребер;
- необходимость установки вне машинного зала ТЭС;

- длинные трубопроводы большого диаметра и существенные потери давления при транспортировке пара от турбины к конденсатору.

Из-за больших габаритов ВК продолжительное время использовались на блоках малой мощности (до 15 МВт). Впервые на ТЭС ВК был применен на энергоблоке мощностью 160 МВт в маловодном районе Испании в 1970 г [1]. В процессе проектирования, сооружения и эксплуатации данного ВК были созданы условия для технических решений, которые позволили в дальнейшем применять подобные конденсаторы на турбинах большей мощности и в более сложных климатических условиях. В настоящее время имеются блоки с ВК мощностью выше 600 МВт.

Воздушные конденсаторы уже нашли широкое применение в таких странах, как США, Германия, Франция, ЮАР, Нидерланды. Опыт эксплуатации и исследований ВК в данных странах позволяет оценить стоимость воздушно-конденсационной установки в районе 80–100 % стоимости системы обратного водоснабжения, а расход электрической энергии на привод вентиляторов и циркуляционных насосов примерно сопоставимы [2].

Результаты многолетней эксплуатации воздушных конденсаторов свидетельствуют о возможности их надежного использования в диапазоне температур от -55 до +55 °С в условиях резкоконтинентального климата. Эти факты подтвердила продолжительная эксплуатация энергоблока мощностью 365 МВт в США (с 1978 г.) [1].

При эксплуатации ВК выявлены следующие проблемы:

- возможность замерзания конденсата в трубах в зимнее время и разрушение труб, в основном, в районе неоребранных гибов;
- неравномерность распределения пара по отдельным трубам, что особенно проявляется для рядов труб по ходу потока воздуха, т.к. трубы на выходе воздуха более горячие, их конденсирующая способность падает;
- большое влияние наличия неконденсирующихся газов, что приводит к сильному падению коэффициента теплоотдачи при конденсации пара в трубе, поэтому в конденсаторах, работающих с давлением ниже атмосферного, необходима система отвода неконденсирующихся газов;
- необходимость очистки поверхностей теплообмена от отложений на ребрах, путем смывания водой.

Проблема замерзания конденсата в трубах ВК в зимнее время при работе на водяном паре является одной из наиболее серьезных, поскольку приводит к разрушению труб и необходимости ремонта конденсатора и остановки турбины. Поэтому ВК для водяного пара выпол-

няют обычно двухступенчатыми. В первой ступени конденсируется до 85 % пара, и он движется вниз, а во второй ступени пар движется вверх, а конденсат вниз, при этом пар подогревает конденсат и не дает ему замерзнуть. Так же для решения этой проблемы применяются трубы овальной формы, т.к. они при замерзании воды деформируются, но не разрушаются. В ВК для НКВ проблема замерзания обычно отсутствует.

Одной из важных проблем применения ВК является отсутствие надежной методики их расчета. При этом наиболее неотработанным является вопрос конденсации пара внутри вертикальных и наклонных труб. Имеется большое количество публикаций по этому вопросу, но надежной методики расчета нет, поэтому в основном используются экспериментальные данные [3, 4].

Рассмотрим перспективные направления применения ВК на ТЭС.

Поскольку основным недостатком ВК является низкий коэффициент теплопередачи и, в результате, большие размеры, то применять их выгодно на ТЭС, где установлены турбины с невысокими расходами пара в конденсатор. Это, в первую очередь, турбины ТЭЦ и утилизационные парогазовые установки (ПГУ). При этом для ТЭЦ немаловажно также то, что они строятся либо в черте города, либо рядом с ним и при этом имеются большие проблемы с источником водоснабжения и экологическим загрязнением. Мощность паровых турбин утилизационных ПГУ составляет треть мощности энергоблока, и, таким образом, расход пара в конденсатор у них в три раза меньше, чем у обычных паротурбинных энергоблоков одинаковой единичной мощности. При этом ТЭС с ПГУ становится выгодно устанавливать в районе топливодобычи, где обычно нет воды для использования конденсаторов водяного охлаждения, а потери энергии на перекачку газа на ТЭС значительно выше потерь при передаче электроэнергии.

Значительное повышение эффективности при применении ВК можно получить на ПГУ тринарного типа [5] при установке их в северных районах России, где в основном расположены районы добычи газа, а температуры наружного воздуха ниже 0 °С стоят 7–8 месяцев в году.

Список литературы:

1. Клевцов А.В., Пронин В.А. Анализ применения воздушных конденсаторов в энергетике. URL: <http://nst.e-apbe.ru/book/6.4.1.pdf> (Дата последнего обращения: 10.09.2014).
2. Юшков Б.В. Разработка воздушного конденсатора нового поколения и исследование его характеристик // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Москва, 2001 г., 234 с. URL: <http://www.dissercat.com/content/razrabotka-vozdushnogo-kondensatora-novogo->

pokoleniya-i-issledovanie-ego-kharakteristik (Дата последнего обращения: 10.09.2014).

3. Мильман О.О., Федоров В.А. Воздушно-конденсационные установки. – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 208 с.
4. Бессонный А.Н., Дрейнер Г.А., Кунтыш В.Б. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения: Справочник: Под общ. ред. В.Б. Кунтыша, А.Н. Бессоного. – СПб.: Недра, 1996. – 512 с.
5. Галашов Н.Н., Цибульский С.А. Анализ влияния основных параметров паротурбинного цикла на эффективность тринарных парогазовых установок // Известия Томского политехнического университета. 2013. – Том 323. № 4. С. 14–21.

УДК 536.253

## **ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ЯДРА КОНДЕНСАЦИИ НА ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ КИСЛОТНЫХ ОСАДКОВ В РАЙОНАХ РАБОТЫ ТЭС**

Гвоздяков Д.В., Губин В.Е.

Томский политехнический университет, г. Томск

E-mail: [dim2003@tpu.ru](mailto:dim2003@tpu.ru); [gubin@tpu.ru](mailto:gubin@tpu.ru)

Современная атмосфера Земли представляет собой совокупность множества газообразных соединений природного [1] (кислород, азот и т.д.) и антропогенного (оксиды азота, серный ангидрид и т.д.) происхождения [1–2].

Известно [3], что в процессе движения неоднократно изменяются геометрические характеристики атмосферных капель. При диаметре ( $d$ ) от  $10^{-6}$  м до  $100 \cdot 10^{-6}$  м последние, как правило, имеют сферическую форму [4], если  $100 \cdot 10^{-6} < d < 1 \cdot 10^{-3}$  м эллипсоидную. Основываясь на результатах [4] можно предположить, что геометрические параметры капель повлияют на ареал их выпадения на поверхности Земли, так как движение капель несферической формы отличается от движения шарообразных не только количественными характеристиками (более высокими значениями коэффициента сопротивления –  $C_D$ ), но и механизмом движения.

Проведенные ранее исследования [5] иллюстрируют механизм формирования седиментационных кислотных осадков в атмосфере, прилегающей к тепловой электрической станции.

Целью настоящей работы является численный анализ результатов процесса формирования седиментационных кислотных осадков в атмосфере, прилегающей к тепловой электрической станции, на поверхности